



Государственная корпорация
по космической деятельности "Роскосмос"



Акционерное общество
"Центральный научно-исследовательский институт
машиностроения" (АО "ЦНИИмаш")

ул. Пионерская, д. 4, корп. 22
г.о. Королёв,
Московская область, 141070

Тел.: +7 (495) 513 5951
Факс: +7 (495) 512 2100

e-mail: corp@tsniimash.ru
http://www.tsniimash.ru

ОГРН 1195081054310
ИНН / КПП 5018200994 / 501801001

04.12.2024 исх. № 10-28609

На № _____ от _____

Ученому секретарю ДС 24.2.327.06,
созданного на базе ФГБОУ ВО "МАИ (НИУ)"

д-ру техн. наук, доц.

Краеву В.М.

Уважаемый Вячеслав Михайлович!

Высылаю Вам отзыв официального оппонента, д-ра техн. наук Твердохлебовой Екатерины Михайловны на диссертацию Валиуллина Валерия Владимировича "Воздействие плазмы электроракетных двигателей на высоковольтные солнечные батареи космических аппаратов", представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15 – "Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов".

Приложение: "Отзыв..." на 5 л в 2 экз.

Начальник Центра автоматических
космических систем и комплексов

Е.М. Твердохлебова

Подлинник электронного документа, подписанного ЭП,
хранится в системе электронного документооборота
АО "Центральный научно-исследовательский
институт машиностроения".

СВЕДЕНИЯ О СЕРТИФИКАТЕ ЭП

Сертификат:
02F1EFAA00D2B1398745149A291DC4BBF0
Кому выдан: Твердохлебова Екатерина Михайловна
Действителен: с 20.08.2024 до 20.11.2025

Исп.: Маленков Антон Александрович
Тел.: +7 (495) 513-47-39
Моб.: +7-916-812-32-13

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

06.12.2024 г.

ОТЗЫВ

официального оппонента Твердохлебовой Екатерины Михайловны на диссертацию Валиуллина Валерия Владимировича "Воздействие плазмы электроракетных двигателей на высоковольтные солнечные батареи космических аппаратов", представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15 – "Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов".

Диссертационная работа Валиуллина В.В. посвящена вопросам совместимости электроракетных двигателей (ЭРД) и высоковольтных солнечных батарей (БС) космических аппаратов (КА). В настоящее время ЭРД применяются повсеместно. За счет высокого удельного импульса они позволяют существенно снизить требуемые запасы рабочего тела и, соответственно, увеличить массу полезной нагрузки КА. Еще один путь увеличения массы полезной нагрузки – уменьшение массы системы электропитания (СЭП) за счет увеличения рабочего напряжения до 100 В и более. Однако при высоком рабочем напряжении СЭП и при наличии плазменного окружения, формируемого при работе ЭРД, могут возникать мощные дуговые разряды, способные привести к существенному снижению выходной мощности СЭП, вплоть до полной потери ее работоспособности. В наибольшей степени подвержены воздействию плазмы панели БС, поскольку они содержат открытые контакты, контактирующие с плазмой ЭРД. Чтобы защитить БС от воздействия плазмы необходим поиск эффективных конструкторских и технологических решений, позволяющих снизить или полностью исключить риск возникновения дуговых разрядов при минимальной массе защиты. Поиск таких решений невозможен без понимания физических механизмов дугообразования. Вышесказанное обуславливает актуальность темы диссертационного исследования.

Научная новизна результатов исследований

1. Разработана физико-математическая модель, описывающая процессы релаксации электрического заряда в радиационно-заряженном

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«06» 12 2017 г.

диэлектрике при его контакте с плазмой ЭРД. С помощью этой модели проведены численные исследования, которые показали, что вероятность возникновения разрядов в объеме диэлектрика в момент контакта с плазмой невелика.

2. Получены экспериментальные данные по дугообразованию на модельных электродах в плазме ЭРД. Разработана феноменологическая модель развития дугового разряда на аноде. Установлено, что такой разряд возникает в результате газовыделения из диэлектриков, прилегающих к нагретому аноду. Сформулированы гипотезы относительно механизмов развития дуговых разрядов на катоде. Определены критерии развития дуговых разрядов на открытых электродах высоковольтных БС.

3. Разработана инженерная модель, позволившая определить значения плавающего потенциала и токов утечки с электродов высоковольтной БС. Показано, что на высоковольтных БС могут создаваться условия для возникновения анодных и катодных дуговых разрядов.

Общая характеристика работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены объект и предмет исследования, сформулированы цель работы и задачи для её достижения, представлены положения, выносимые на защиту, а также апробация результатов и публикации по теме диссертации.

В первой главе рассмотрены особенности конструкции современных БС и процессы их взаимодействия с магнитосферной плазмой и плазмой ЭРД.

Во второй главе представлена математическая модель взаимодействия плазмы ЭРД с радиационно-заряженными диэлектрическими поверхностями КА в рамках "конденсаторной" модели. Данная модель описывает транспорт носителей заряда, эмиссионные процессы, процессы ионизации и рекомбинации электронов и дырок, термализацию первичных электронов в диэлектрике. Модель взаимодействия радиационно-заряженного диэлектрика с плазмой ЭРД построена на основе зондовой теории Ленгмюра. Приведены результаты верификации модели и численного исследования процессов, протекающих при контакте заряженного диэлектрика с плазмой ЭРД.

В третьей главе представлены результаты экспериментального исследования анодных и катодных дуговых разрядов, возникающих на плоских зондах в плазме, формируемой холловским двигателем. Плоские зонды представляли собой специально изготовленные из различных материалов образцы и находились под потенциалом относительно окружающей плазмы. На зонды подавалось различное смещение потенциала, что позволило исследовать как анодные, так и катодные процессы. Для описания анодных разрядов разработана феноменологическая модель. Сформулирована гипотеза о возможном механизме развития катодных разрядов. Определены критерии возникновения дугового разряда на открытых электродах высоковольтной БС в плазме ЭРД.

В четвертой главе сделаны оценки потенциалов и токов утечки на открытых электродах высоковольтной БС в плазме ЭРД. Определена равновесная температура этих электродов в зависимости от угла поворота панелей БС. На основании этих оценок сделан вывод о возможности возникновения дуговых разрядов обоих типов на высоковольтных БС КА, котором работает ЭРД. Даны рекомендации по защите высоковольтной БС от дуговых разрядов.

В заключении сформулированы основные результаты работы, которые можно объединить в три группы:

1. Разработаны математические модели для расчета взаимодействия плазмы ЭРД с диэлектрическими поверхностями и открытыми электродами БС.
2. Экспериментально исследованы процессы дугообразования на электродах высоковольтных БС в плазме ЭРД, определены параметры моделей взаимодействия.
3. Проведены численные расчеты и оценки, позволившие получить новые данные и знания о процессах взаимодействия, сформулировать критерии возникновения дуговых разрядов, а также выработать рекомендации по защите высоковольтных БС от негативного влияния плазмы ЭРД.

Достоверность полученных автором результатов диссертационной работы обеспечена проведением экспериментальных работ на аттестованном

оборудовании, использованием апробированных математических моделей, сопоставлением полученных результатов с результатами исследований других авторов.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследований

1. Полученные экспериментальные данные позволяют обосновать выбор конструктивных элементов высоковольтных БС, параметры системы измерений и режимы испытаний высоковольтных БС на устойчивость к дугообразованию в плазме ЭРД;
2. Выработаны рекомендации, позволяющие снизить риск возникновения разрядных явлений на высоковольтных БС КА, работающих в плазме ЭРД.

Замечания

1. На приведенной электрической схеме эксперимента не показано, каким образом измерялось электрическое смещение плоских зондов относительно плазменной струи ЭРД.
2. Для более ясного понимания процессов, протекающих при возникновении электрических токов между ЭРД и плоскими зондами, желательно было привести эквивалентную электрическую схему, учитывающую индуктивные и ёмкостные характеристики всех элементов цепи.
3. На электрической схеме не приведены эквивалентные конденсаторы, что не позволяет оценить площадь БС, которая рассматривается в экспериментальных исследованиях.

Заключение

Представленная диссертационная работа Валиуллина Валерия Владимировича на тему "Воздействие плазмы электроракетных двигателей на высоковольтные солнечные батареи космических аппаратов" является завершённой научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной научно-технической задачи, имеющей значение для развития теории и практики создания высокоэффективных систем электропитания КА с ЭРД.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Тема и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 2.5.15. – "Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов" (п. 12,15,17,20), а также требованиям "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013г., а её автор - Валиуллин Валерий Владимирович, достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. – "Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов".

Начальник Центра автоматических
космических систем и комплексов
АО "ЦНИИмаш", д-р техн. наук

Е.М. Твердохлебowa

Подпись Твердохлебовой Е.М. удостоверяю
Главный ученый секретарь АО "ЦНИИмаш",
д-р техн. наук, ст. науч. сотр.



В.Ю. Ключников

Акционерное общество "Центральный научно-исследовательский институт машиностроения"

Почтовый адрес: 141070, Российская Федерация, Московская область, г. Королев, ул. Пионерская, д. 4

Телефон: 8 (495) 513-59-51

Факс: 8 (495) 512-21-00

E-mail: corp@tsniimash.ru

С отзывом ознакомлен

6.12.2024г.

Валиуллин В.В.